

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-034362
(43)Date of publication of application : 08.02.1994

(51)Int.Cl. G01B 21/30
G06F 15/32

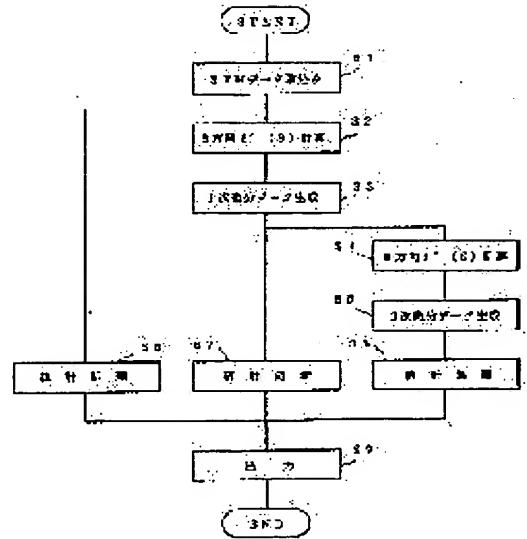
(21)Application number : 04-210643 (71)Applicant : NIPPON SHEET GLASS CO LTD
(22)Date of filing : 16.07.1992 (72)Inventor : KIYOHARA KOICHIRO
HORI RYOJI
FUKUHARA TAICHI
ISHIHARA KOICHI

(54) METHOD AND DEVICE FOR QUANTIFICATION OF SURFACE UNEVENNESS SHAPE

(57)Abstract:

PURPOSE: To three dimensionally quantify the shape of fine surface unevenness.

CONSTITUTION: STM data as height information about the shape of surface unevenness is taken in, and from these data the first order differentiation data representing gradient and the second order differentiation data representing the roundness are calculated. The statistical data such as mean, max., min., standard deviation, distortion, and sharpness are calculated from these pieces of data, i.e., STM data, first order differentiation data, and second order differentiation data. These statistical data are used in evaluation of the shape of surface unevenness.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.03.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3036981

[Date of registration] 25.02.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right] 25.02.2003

* NOTICES *

JPO and INPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The height of the shape of tooth of the front face of an evaluation object is measured about the point of measurement arranged in the shape of a matrix. Generate matrix-like height data and it is based on said height data about each point of measurement. The primary differential which expresses the inclination of the shape of tooth in eight directions from each point of measurement is calculated. The direction which has the greatest value in the value of the primary differential in said eight directions is determined as the inclination direction. Generate primary differential data of the shape of a matrix by said maximum, and the secondary differential which shows R degree of the shape of tooth in said inclination direction is calculated about each point of measurement based on said primary differential data. The quantification approach of the shape of surface tooth characterized by generating secondary matrix-like differential data, processing said height data, said primary differential data, and said secondary differential data, respectively, and generating the statistical data which quantifies the three-dimension configuration of surface irregularity.

[Claim 2] Said statistical data is the quantification approach of the average, maximum, the minimum value, a median, standard deviation, strain, and the shape of surface tooth according to claim 1 that sharpens and is characterized by being one or more sorts in whenever.

[Claim 3] Count of said primary differential and secondary differential is the quantification approach of the shape of surface tooth according to claim 1 characterized by performing the difference of the value of two point of measurement by doing a division in the distance of two point of measurement.

[Claim 4] The quantification approach of the shape of surface tooth according to claim 2 characterized by calculating the value of primary differential, and the value of secondary differential by weighting filtering in count of said primary differential and secondary differential.

[Claim 5] The weighting factor in said weighting filtering is the quantification approach of the shape of surface tooth according to claim 4 characterized by selecting so that the distance between center-of-gravity points in eight directions may become almost equal.

[Claim 6] The height of the shape of tooth of the front face of an evaluation object is measured about the point of measurement arranged in the shape of a matrix. About a height data generation means to generate matrix-like height data, and each point of measurement Based on said height data, calculate the primary differential which expresses the inclination of the shape of tooth in eight directions from each point of measurement, and in the value of the primary differential in said eight directions A primary differential data generation means to determine the direction which has the greatest value as the inclination direction, and to generate primary differential data of the shape of a matrix by said maximum, About each point of measurement, the secondary differential showing R degree of the shape of tooth in said inclination direction is calculated based on said primary differential data. A secondary differential data generation means to generate secondary matrix-like differential data, Quantification equipment of the shape of surface tooth characterized by processing said height data, said primary differential data, and said secondary differential data, respectively, and having a statistical-data generation means to generate the statistical data which quantifies the three-dimension configuration of surface irregularity, and the means which carries out the display output of said statistical data.

[Claim 7] Said statistical data is quantification equipment of the average, maximum, the minimum

value, a median, standard deviation, strain, and the shape of surface toothing according to claim 6 that sharpens and is characterized by being one or more sorts in whenever.

[Claim 8] Count of said primary differential and secondary differential is quantification equipment of the shape of surface toothing according to claim 6 characterized by performing the difference of the value of two point of measurement by doing a division in the distance of two point of measurement.

[Claim 9] Quantification equipment of the shape of surface toothing according to claim 6 characterized by calculating the value of primary differential, and the value of secondary differential by weighting filtering in count of said primary differential and secondary differential.

[Claim 10] The weighting factor in said weighting filtering is quantification equipment of the shape of surface toothing according to claim 9 characterized by being selected so that the distance between center-of-gravity points in eight directions may become almost equal.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the approach and equipment which more specifically quantify the three-dimension configuration of surface irregularity about the technique of evaluating the shape of very detailed toothing on the front face of an evaluation object.

[0002]

[Description of the Prior Art] As a means to measure the condition that it is irregular in the shape of surface type conventionally, a sensing pin, laser, an electron ray, etc. are made to scan, and the front-face top is evaluated using numeric values, such as the maximum height (Rmax) based on JIS (surface roughness specification) for the condition, ten-point average surface roughness (Rz), and the centerline average height (Ra).

[0003] moreover, the dispersion transmitted light to all the transmitted lights (dispersion transmitted light + rectilinear-propagation transmitted light) when light passes an ingredient about the surface irregularity of a transparent material, for example, glass, and a metal thin film -- the so-called rate of haze has been comparatively used as an evaluation means of a surface state.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, neither of conventional means is a means to express a surface three-dimension configuration quantitatively. For example, if it observes with a scanning electron microscope (SEM) even if Ra, Rmax, etc. are the same values, three-dimension-surface concave convex voice may differ. Moreover, three-dimension surface states may differ also with the value with the same rate of haze. The reason is because rates of haze of a three dimension, such as the shape of surface type, Ra, and Rmax, are the independent parameters.

[0005] Specifically, the artificer of this application etc. recognized the trouble that distinction of grain configurations, such as a pyramid mold and a dome mold, did not attach Ra, Rmax, etc. enough at the rate of haze, on the occasion of evaluation of the surface irregularity of the transparent electrode of an amorphous silicon solar battery. Therefore, the surface toothing-like quantification approach and equipment which can distinguish the configuration of three-dimension-surface irregularity, such as a pyramid mold and a dome mold, needed to be developed.

[0006] The purpose of this invention is to offer the surface toothing-like quantification approach and equipment which can reply to the above requests.

[0007]

[Means for Solving the Problem] The quantification approach of the shape of surface toothing of this invention measures the height of the shape of toothing of the front face of an evaluation object about the point of measurement arranged in the shape of a matrix. Generate matrix-like height data and it is based on said height data about each point of measurement. The primary differential which expresses the inclination of the shape of toothing in eight directions from each point of measurement is calculated. The direction which has the greatest value in the value of the primary differential in said eight directions is determined as the inclination direction. Generate primary differential data of the shape of a matrix by said maximum, and the secondary differential which shows R degree of the shape of toothing in said inclination direction is calculated about each point of measurement based on said primary differential data. It is characterized by generating secondary matrix-like differential data, processing said height data, said primary differential data, and said secondary differential data,

respectively, and generating the statistical data which quantifies the three-dimension configuration of surface irregularity.

[0008] The quantification equipment of the shape of surface toothing of this invention measures the height of the shape of toothing of the front face of an evaluation object about the point of measurement arranged in the shape of a matrix. About a height data generation means to generate matrix-like height data, and each point of measurement Based on said height data, calculate the primary differential which expresses the inclination of the shape of toothing in eight directions from each point of measurement, and in the value of the primary differential in said eight directions A primary differential data generation means to determine the direction which has the greatest value as the inclination direction, and to generate primary differential data of the shape of a matrix by said maximum, About each point of measurement, the secondary differential showing R degree of the shape of toothing in said inclination direction is calculated based on said primary differential data. A secondary differential data generation means to generate secondary matrix-like differential data, It is characterized by processing said height data, said primary differential data, and said secondary differential data, respectively, and having a statistical-data generation means to generate the statistical data which quantifies the three-dimension configuration of surface irregularity, and the means which carries out the display output of said statistical data.

[0009]

[Function] According to this invention, an inclination [in / for the configuration of the irregularity of the front face of an evaluation object / each point] and R degree are expressed numerically, and quantification is attained using the average, maximum, the minimum value, standard deviation, etc.

[0010] For that, first, the height information on surface is evaluated and the inclination direction in the point of arbitration is read. Next, the 1st order is differentiated on the point of arbitration and ** in the point is computed. Then, the secondary [further] primary differential result is differentiated and R degree in the point is quantified. Consequently, the configuration of surface irregularity can be quantified. That is, a configuration can be quantified in three dimension.

[0011] In order to evaluate the height information on surface, the height in each point arranged in the shape of a matrix is measured by the means which can evaluate the height information on a two-dimensional front face for digital one, for example, a scanning tunneling microscope, (STM), the atomic force microscope (AFM), and sensing-pin type surface roughness count. Thereby, height information is acquired as information on a field.

[0012] The inclination direction in each point is defined as follows. That is, in each point, height data with other points of perimeter 8 direction are compared, namely, a difference is taken, and the direction the difference of whose is maximum is made into the inclination direction of the point. Since the inclination numeric value mistaken by the comparison with the adjoining point at that time may be acquired, according to a case, the inclination direction is further defined as compared with the previous point.

[0013] In each point, differential (primary differential) is taken in the inclination direction, and an inclination is computed. Furthermore an inclination is differentiated (secondary differential) and it asks for R degree in each point. If the configuration with a linear front face is shown, a secondary differential result will be set to "0." A top or a convex thing understands the point by the difference between + value of a secondary differential result, and - value. Recognition of the magnitude of the R degree is attained in the magnitude of the absolute value of a secondary differential result.

[0014] About a pyramid mold configuration and a dome mold configuration, the result of primary differential and secondary differential is considered. A degree type is realized on the basis of assumption that a pyramid mold has many straight-line slant faces, and a dome mold has many convex slant faces.

Pyramid mold: $Z=aS+b$ or $Z=-aS+b$... (1)

Dome mold: $Z=-aS^2+b$... (2)

These formulas are shown in drawing 1 (a) and (b). if a formula (1) and (2) are differentiated -- $Z'=a$ or -- $Z'=-a$... (3)

$Z'=-2aS$... (4)

It becomes. This expresses the inclination, a formula (3) shows the high peak [mold / pyramid] a and -a, and the formula (4) shows that a dome mold does not generate a high peak. When a formula

(3) and (4) are differentiated, it is =0 Z". ... (5)

Z"=-2a ... (6)

It becomes. This expresses R degree, a formula (5) shows that R degree is 0 with a pyramid mold, and the formula (6) shows the convex thing with the dome mold. In a dome mold, the absolute value of a secondary differential result becomes large as R degree becomes tight.

[0015] The above result is summarized in degree table.

[Table 1]

	ピラミッド型	ドーム型
1次微分	ばらつき少ない	ばらつきあり
2次微分	0	一定

Since it has [configuration / a pyramid mold and / dome mold] the above properties about a primary differential result and a secondary differential result, when the configuration is evaluated by calculation of the average of the height information on surface, a primary differential result, and a secondary differential result, maximum, the minimum value, standard deviation, etc. (quantification), surface detailed toothed-like evaluation is attained.

[0016]

[Example] Drawing 2 is a fundamental flow chart for explaining the quantification approach of the shape of surface toothed of this invention. Moreover, drawing 3 is a fundamental functional block diagram of quantification equipment which enforces this approach.

[0017] The fundamental example of this invention is explained about the case where the surface irregularity of the transparent electrode (SnO₂) of an amorphous silicon solar battery is quantified.

[0018] First, the transparent electrode front face of a solar battery is measured by STM10, and the height information on the evaluated front face (henceforth STM data) is incorporated to a central processing unit 20 (step S1). STM data contain the height data of the point (point of measurement) of 256x256 matrices in the 10microx10micro field. Drawing 4 (a) shows some STM data which filled in and displayed the height data corresponding to each point of 256x256 matrix. Explanation shall set like illustration of the direction of X, and the direction of Y for convenience.

[0019] Next, as shown in drawing 4 (b), primary differential is calculated by the bottom type between the contiguity points of eight directions about each point in the eight primary directions differential count section 21 (step S2).

[0020]

$$f'(S) = \{f(S+\Delta S) - f(S)\} / \Delta S \dots (7)$$

ΔS is the distance during the contiguity point here. ΔS during the contiguity point of the direction (henceforth the direction of slant) which makes the include angle of 45 degrees to the X-axis or Y shaft orientations doubles [$\sqrt{2}$] during the contiguity point of the X-axis or Y shaft orientations.

[0021] In the primary differential data generation section 22, the maximum of the primary differential in the eight directions of each point is calculated, and primary differential data of 256x256 matrices are generated. In addition, in each point, the direction where the maximum of primary differential was obtained is made into the inclination direction.

[0022] Thus, from primary called-for differential data of 256x256 matrices, $f''(S)$ of secondary differential in eight directions is calculated the same with having asked for primary differential in the secondary differential count section 23 (step S4).

[0023] Next, in the secondary differential data generation section, the secondary differential of the inclination direction where the maximum of primary differential was obtained among the secondary differential in eight directions is chosen, and secondary differential data of 256x256 matrices are

generated (step S5).

[0024] Although explained by explanation of the term of an operation having differentiated on the occasion of generation of secondary differential data only in the inclination direction defined by count of primary differential, processing [as / in step S4 and S5] in which differentiate about the eight direction of each also in secondary differential, and the differential value of the inclination direction is chosen is performed on creation of a program in fact.

[0025] the STM data incorporated from STM, primary differential data for which it asked by count, and secondary differential data for which it asked by count -- the statistics processing section 25 -- respectively -- statistics processing -- carrying out (steps S6, S7, and S8) -- the average of height data (STM data), primary differential data, and secondary differential data, maximum, the minimum value, a median, standard deviation, and strain -- it sharpens and asks for whenever. Moreover, about secondary differential data, + section average and - section average are calculated further.

[0026] These calculated statistical datas are outputted and displayed on a printer or a display 30 (step S9).

[0027] Thus, by the quantified numeric value, evaluation of the shape of detailed toothing on the front face of a transparent electrode of a solar battery is attained.

[0028] Although the above explained the fundamental example of this invention, when deltaS is made minute for minute change of STM data or a noise, only a micro changing point may be measured and there is a possibility that the statistical data for proper evaluation may not be obtained, by such measurement. So, the following arts are used in this invention.

[0029] In order to remove the noise of STM data, STM data are graduated using the spatial filter in a computer image processing technique. Drawing 5 explains spatial filter processing. Drawing 5 (a) shows the STM data of 256x256 matrix which displayed height data. Drawing 5 (b) shows 3x3 spatial filter as an example. All the multipliers of a spatial filter are "1."

[0030] To the point-of-measurement field 40 of 3x3 of drawing 5 (a), spatial filter processing is carried out, the average 3.3 of height data is calculated by

$(3x1+5x1+6x1+1x1+9x1+1x1+2x1+2x1+1x1) / 9$, and this average is replaced with the height data of the point of measurement of the core of a field 40 as shown in drawing 5 (c). Thus, a noise is removable by carrying out spatial filter processing and graduating the data of all point of measurement. Although all spatial filter multipliers were set to "1" in this example, it is also possible to attach weight to a multiplier. Above, although the spatial filter of 3x3 was explained, the spatial filter of 5x5 and 7x7 can also be used.

[0031] Since the above spatial filter processing is a well-known technique in an image processing, explanation beyond this is not given.

[0032] Now, in fundamental explanation of above-mentioned this invention, although primary differential and secondary differential are calculated based on the data during the contiguity point, if deltaS is minute as mentioned above, only a micro changing point may be measured. Therefore, although what is necessary is just to enlarge deltaS, when deltaS is enlarged, there is a possibility that a noise may enter. Then, in order to mitigate the effect of a noise, we decided to eliminate the fault by having enlarged deltaS by taking in the idea of the average in a spatial filter, and weighting.

[0033] Drawing 6 (a) shows the 3x3 differentiation filter for the weighting differential of the direction of X, and drawing 6 (b) shows the 3x3 differentiation filter for the weighting differential of the direction of slant. For example, the following count is performed when covering the differentiation filter of drawing 6 (a) to the field 40 of drawing 5 (a).

[0034]

The following count is performed when covering the differentiation filter of drawing 6 (b) to $\{6x(+1) + 1x(+1) + 1x(+1) + 3x(-1) + 1x(-1) + 2(-1)\} / 3x\delta S_1$, and the field 40 of drawing 5 (a).

[0035]

$\{1x(+1) + 1x(+1) + 2x(+1) + 1x(-1) + 3x(-1) + 5(-1)\} / 3x\delta S_2\delta S_1$ and δS_2 It is the distance between centers of gravity, and when distance between the contiguity points is set to "1", it is $\delta S_1 = 2$ and $\delta S_2 = 1.88$.

[0036] With a differential filter as shown in drawing 6 (a) and (b), it is δS_1 . δS_2 Since it differed, the error had arisen between the differential value of X and the direction of Y, and the differential value of the direction of slant.

[0037] Then, $\Delta S1 = \Delta S2$ The weighting factor of the weighting differential filter of 3x3 is chosen as it indicates drawing 7 that it becomes. Drawing 7 (a) shows the 3x3 differentiation filter for the weighting differential of the direction of X, and drawing 7 (b) shows the 3x3 differentiation filter for the weighting differential of the direction of slant.

[0038] Distance $\Delta S1$ between centers of gravity in the case of drawing 7 (a) It is calculated as follows.

[0039]

$\Delta S1 = \{(-2+2) 2 + (-2-3-2) 2\} 1/2 x 2 / (2+3+2) = 2$ -- again -- distance $\Delta S2$ between centers of gravity in the case of drawing 7 (b) It is calculated as follows.

[0040]

$\Delta S2 = \{(2+3) 2 + (3+2) 2\} 1/2 x 2 / (2+3+2) = 2.02$ -- if differential is calculated using the weighting differential filter of drawing 7 (a) and (b) in this way, a small differential value with error can be calculated between the direction of X, the direction of Y, and the direction of slant.

[0041] In addition, although they show the differentiation filter in the case of calculating the differential of the direction shown by the dotted-line arrow head, that the differentiation filter for the six remaining directions is obtained could understand drawing 7 (a) and (b) easily by making it rotate 90 degrees respectively.

[0042] Moreover, such a weighting differential filter shall be used about both primary differential and secondary differential.

[0043] Below is asked for primary differential data and secondary differential data using the differentiation filter shown in drawing 7 from the STM data which are the height information on the transparent electrode (SnO₂) of an amorphous silicon solar battery, and the example of the statistical data obtained by carrying out statistics processing of STM data, primary differential data, and the secondary differential data is shown.

[0044] the case where measure the transparent electrode (SnO₂) used for such a solar battery by STM, and height data are obtained -- one grain (size of 0.1-1 micron) -- it hit and about 25-40 point of measurement was taken.

[0045] In addition, in order to help an understanding, the sectional view of an amorphous silicon solar battery is shown in drawing 8. Incidence of the light is carried out from the direction of a glass plate, they is scattered about with the display detailed irregularity (texture structure) of a transparent electrode, and enters in an amorphous silicon. Conversion efficiency improves by scattering about light and entering in an amorphous silicon.

[0046] Example One transparent electrode (SnO₂ film)

Thickness : 6150A grain configuration : The rate of pyramid mold haze : 5.0%SEM photograph : Drawing 9 statistical data STM data Primary differential data The secondary differential data averages 80.7589 (nm) 26.6484 0.001576 maximum 174.532 (nm) 72.9035 The 0.932572 minimum value 0 0 -0.92528 median 78.6428 (nm) 25.2556 -0.00728 standard deviation 29.0841 (nm) 13.923 0.215649 strain -0.30279 -0.55730 It sharpens -0.27607. Degree 2.83009 2.98879 7.83088+ sections averages 0.174389-section average -0.12828 examples Two transparent electrodes (SnO₂ film)

Thickness : 6150A grain configuration : The rate of pyramid mold haze : 7.0%SEM photograph : Drawing 10 statistical data STM data Primary differential data The secondary differential data averages 85.8242 (nm) 28.2704 0.001880 maximum 187.792 (nm) 74.527 The 1.03619 minimum values 0 0 -1.0281 median 84.3149 (nm) 27.6621 -0.00809 standard deviation 30.2138 (nm) 13.8612 0.220702 strain - 0.25499 - 0.38947 It sharpens -0.14049 and is degree 2.71711. 2.86697 9.0705+ sections average 0.177596-section average -0.12855 examples Three transparent electrodes (SnO₂ film)

Thickness : 5700A grain configuration : The rate of dome mold haze : 7.2%SEM photograph : Drawing 11 statistical data STM data Primary differential data The secondary differential data averages 105.247 (nm) 26.8368 -0.00085 maximum 203.621 (nm) 75.2309 The 1.088 minimum value 0 0 -1.0795 median 104.627 (nm) 25.4545 -0.017 standard deviation 33.0929 (nm) 13.978 0.210183 strain - 0.19893 - 0.44292 It sharpens -0.09932. Degree 2.98318 2.84706 10.3231+ sections averages 0.166137-section average -0.12122 examples Four transparent electrodes (SnO₂ film)

Thickness : 5450A grain configuration : The rate of dome mold haze : 8.1%SEM photograph :

Drawing 12 statistical data STM data Primary differential data The secondary differential data averages 100.709 (nm) 26.4187 -0.00053 maximum 207.415 (nm) 75.8747 The 1.13981 minimum value 0 0 -1.13091 median 99.4916 (nm) 24.619 - 0.00890 standard deviation 31.1651 (nm) 14.3043 0.225364 strain - 0.14591 - 0.54721 Whenever it sharpens 0.25075 2.64208 2.94404 9.90896+ sections averages 0.167901-section average Evaluation of the shape of toothing on the front face of a transparent electrode is attained from -0.13692 or more statistical datas.

[0047] The graph which plotted change of the short-circuit current of the solar battery to the rate of haze of a transparent electrode about the amorphous silicon solar battery using the transparent electrode which has the shape of surface detailed toothing of a pyramid mold or a dome mold is shown in drawing 13 . However, surface irregularity shall be small (more near evenly), and a short-circuit current shall be expressed with the ratio to the standard transparent electrode whose rate of haze is 2 - 3%. According to drawing 13 , with a pyramid mold and a dome mold, a difference is in a short-circuit current and a short-circuit current with the larger pyramid mold is acquired. Thus, it not only depends for a short-circuit current on the rate of haze, but it turns out that it depends also in the shape of [of the front face of a transparent electrode] toothing.

[0048] Although especially the above example explained quantifying the shape of surface toothing of the transparent electrode of a solar battery, it is clear that this invention's it is widely applicable to surface toothing-like quantification.

[0049]

[Effect of the Invention] According to this invention, surface toothing-like (height, inclination, R degree) quantification is attained. Therefore, although the former was not able to estimate three-dimension-surface concave convex voice at surface roughness and the rate of haze, it became possible by this invention.

[0050] The quantification approach of the shape of surface toothing of this invention and equipment can be used for various fields, and are very useful.

[Translation done.]

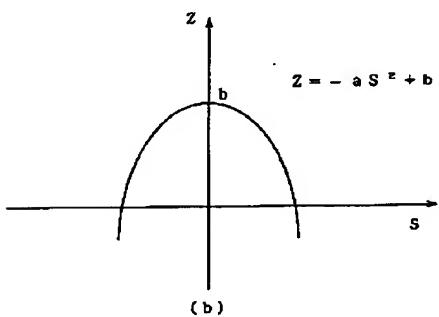
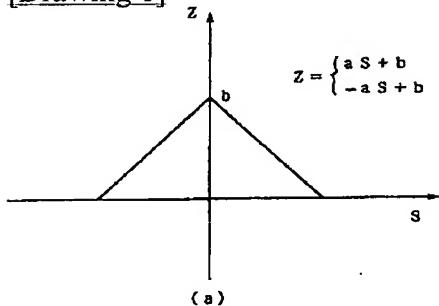
* NOTICES *

JPO and INPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. *** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

[Drawing 1]



[Drawing 6]

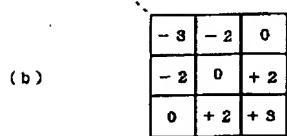
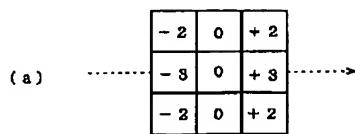
-1	0	+1
-1	0	+1
-1	0	+1

(a)

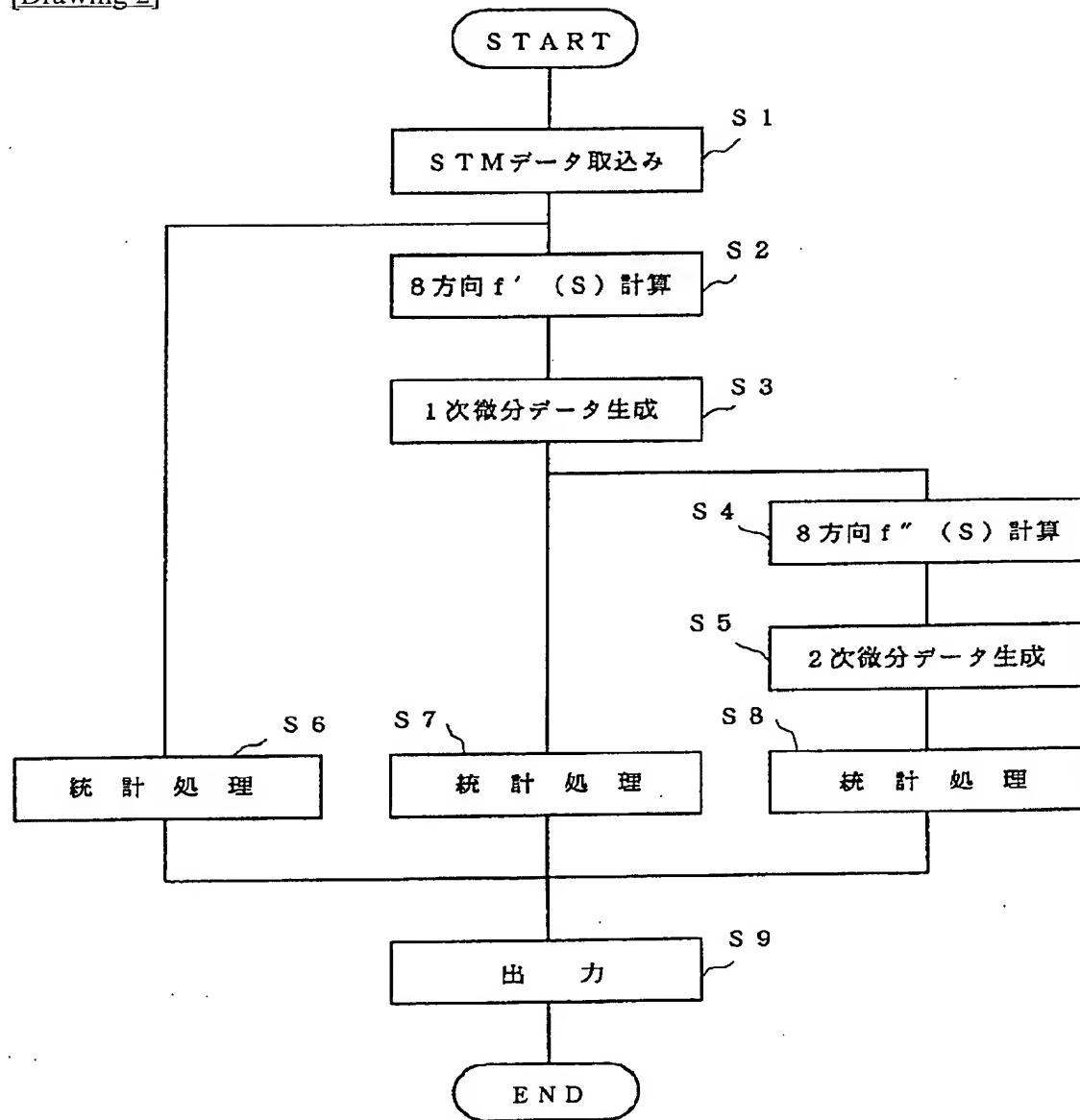
-1	-1	0
-1	0	+1
0	+1	+1

(b)

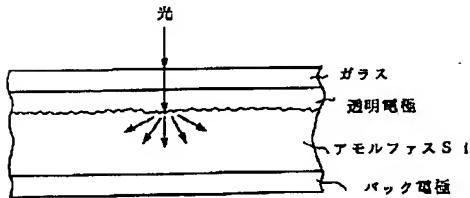
[Drawing 7]



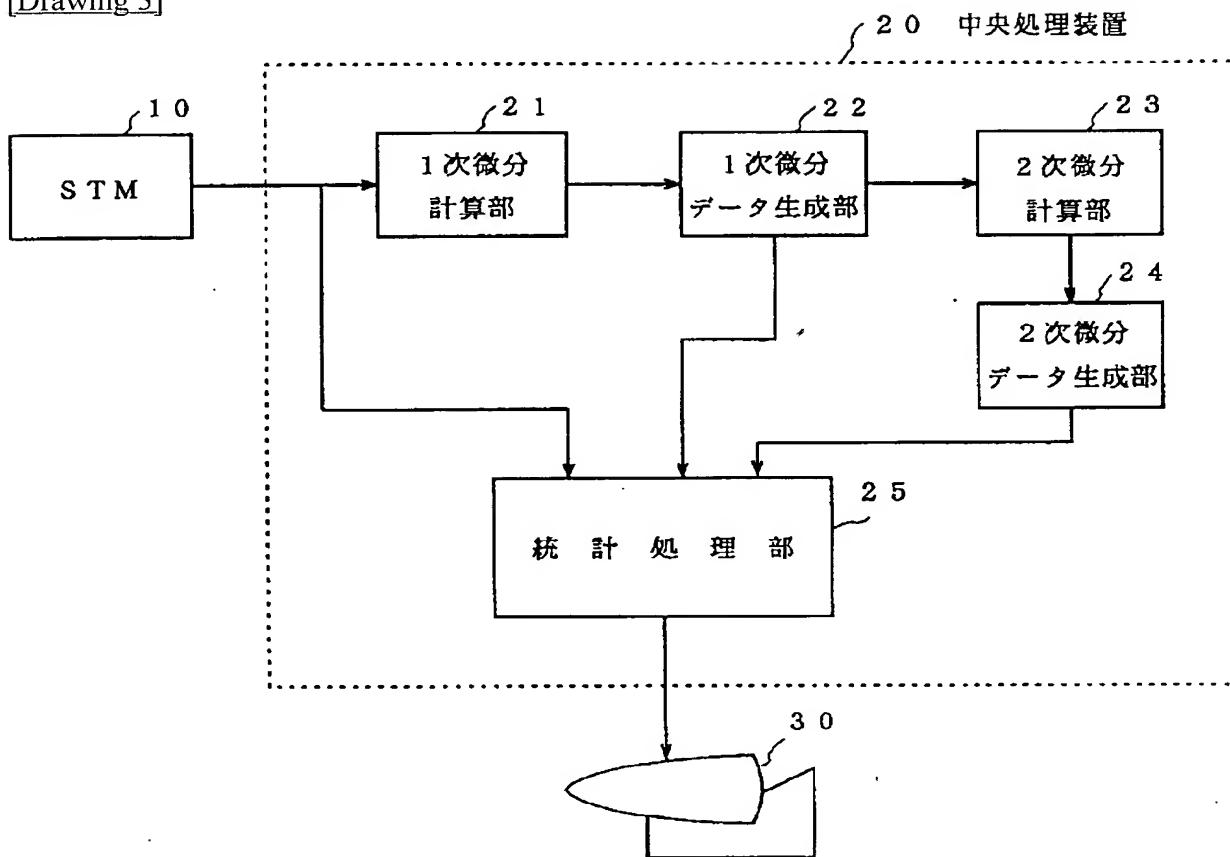
[Drawing 2]



[Drawing 8]



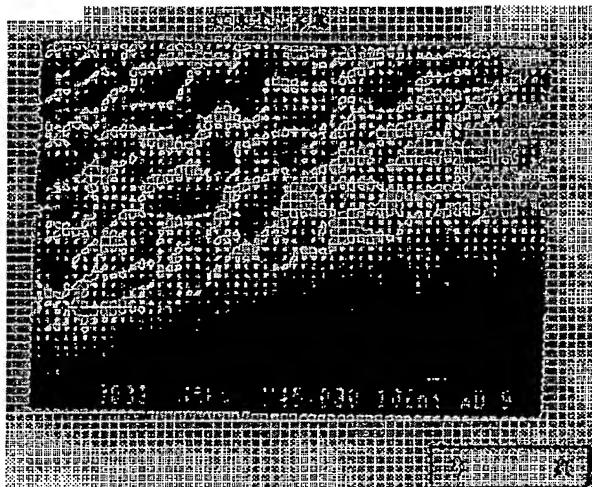
[Drawing 3]



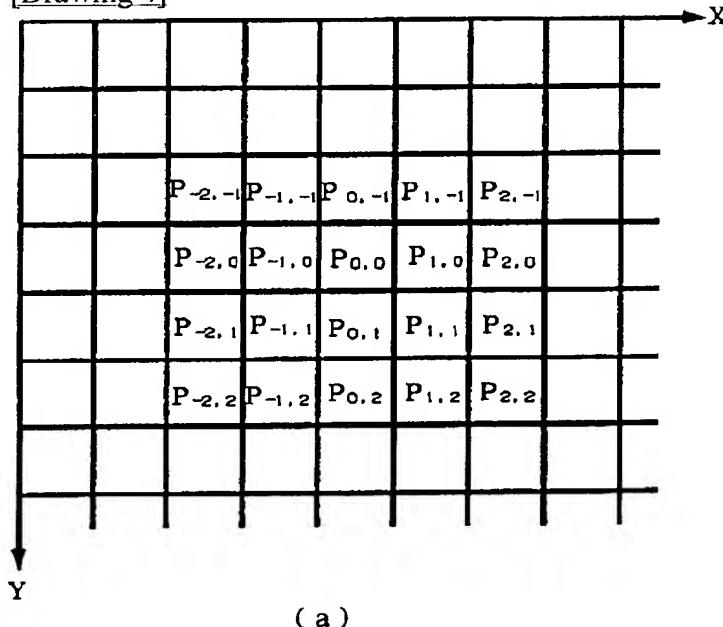
[Drawing 9]



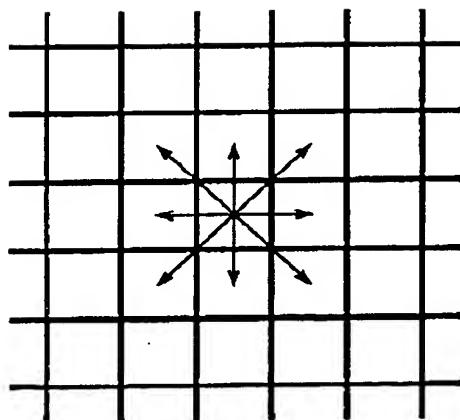
[Drawing 10]



[Drawing 4]

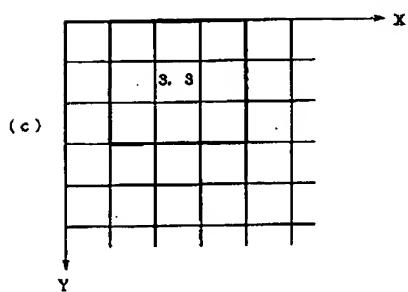
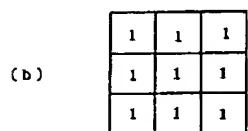
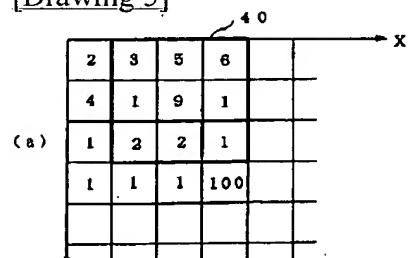


(a)

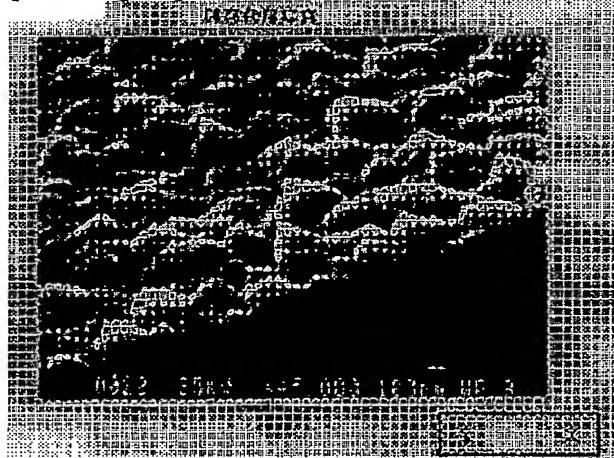


(b)

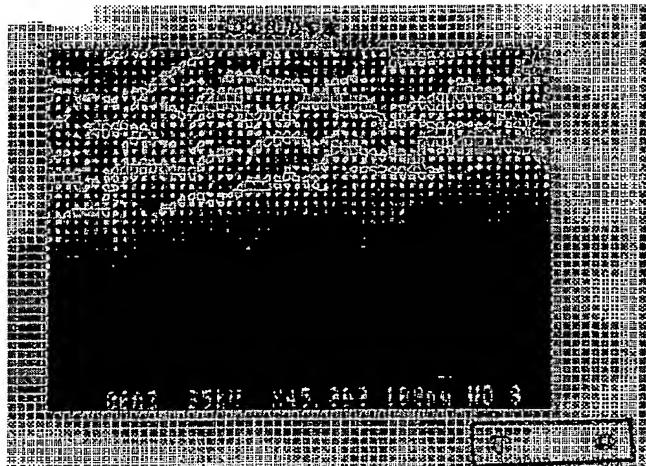
[Drawing 5]



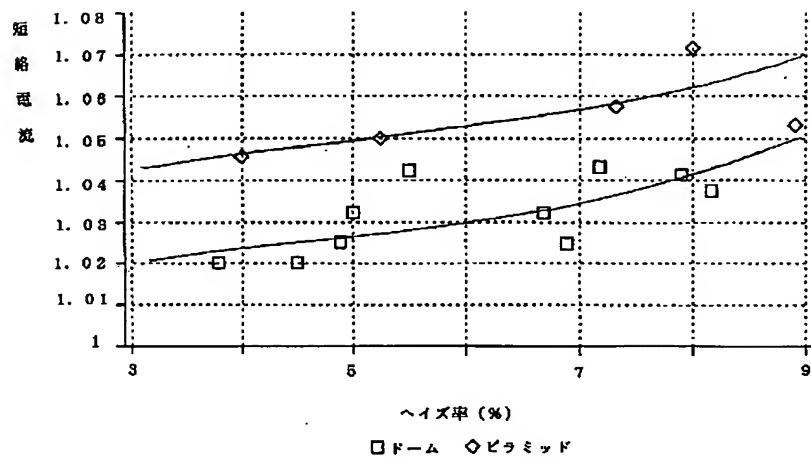
[Drawing 11]



[Drawing 12]



[Drawing 13]



[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-34362

(43)公開日 平成6年(1994)2月8日

(51)Int.Cl.³
G 0 1 B 21/30
G 0 6 F 15/32

識別記号 102
府内整理番号 9106-2F
A 8320-5L

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数10(全 11 頁)

(21)出願番号 特願平4-210643

(22)出願日 平成4年(1992)7月16日

(71)出願人 000004008

日本板硝子株式会社

大阪府大阪市中央区道修町3丁目5番11号

(72)発明者 清原 康一郎

神奈川県相模原市東橋本2-11-11 ジョ

イフルハ イツ 405

(72)発明者 堀 良治

神奈川県相模原市元橋本町35-31 日本板

硝子光風 寮

(72)発明者 福原 太一

神奈川県相模原市渕野辺4-36-16 A-

201

(74)代理人 弁理士 岩佐 義幸

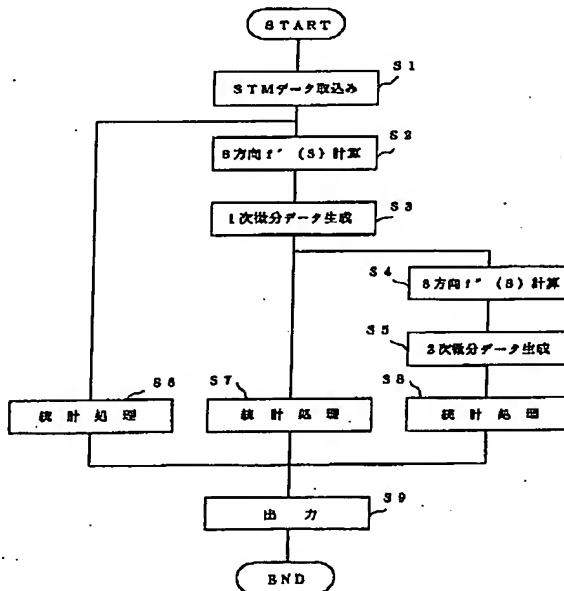
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 表面凹凸形状の定量化方法および装置

(57)【要約】

【目的】 表面の微細凹凸形状を3次元的に定量化する。

【構成】 凹凸形状の高さ情報であるSTMデータを取り込み、これらデータから傾きを表す1次微分データ、R度合いを表す2次微分データを計算する。これら、STMデータ、1次微分データ、2次微分データから平均値、最大値、最小値、標準偏差、歪み度、尖り度などの統計データを計算する。これら統計データは、表面凹凸形状の評価に利用される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】評価対象物の表面の凹凸形状の高さをマトリックス状に配列された測定点について測定して、マトリックス状の高さデータを生成し、各測定点について、前記高さデータに基づいて、各測定点から8つの方向における凹凸形状の傾きを表す1次微分を計算し、前記8方向における1次微分の値の中で最大の値を有する方向を傾斜方向と定め、前記最大値によるマトリックス状の1次微分データを生成し、各測定点について、前記1次微分データに基づいて、前記傾斜方向における凹凸形状のR度合いを示す2次微分を計算して、マトリックス状の2次微分データを生成し、前記高さデータ、前記1次微分データ、前記2次微分データをそれぞれ処理して、表面凹凸の3次元形状を定量化する統計データを生成することを特徴とする表面凹凸形状の定量化方法。

【請求項2】前記統計データは、平均値、最大値、最小値、中央値、標準偏差、歪み度、尖り度のうちの1種以上であることを特徴とする請求項1記載の表面凹凸形状の定量化方法。

【請求項3】前記1次微分および2次微分の計算は、2つの測定点の値の差を、2つの測定点の距離で除算することにより行うことを特徴とする請求項1記載の表面凹凸形状の定量化方法。

【請求項4】前記1次微分および2次微分の計算にあたり、重み付けフィルタ処理により、1次微分の値および2次微分の値を求めることが特徴とする請求項2記載の表面凹凸形状の定量化方法。

【請求項5】前記重み付けフィルタ処理における重み係数は、8方向における重心点間距離がほぼ等しくなるように選定することを特徴とする請求項4記載の表面凹凸形状の定量化方法。

【請求項6】評価対象物の表面の凹凸形状の高さをマトリックス状に配列された測定点について測定して、マトリックス状の高さデータを生成する高さデータ生成手段と、

各測定点について、前記高さデータに基づいて、各測定点から8つの方向における凹凸形状の傾きを表す1次微分を計算し、前記8方向における1次微分の値の中で、最大の値を有する方向を傾斜方向と定め、前記最大値によるマトリックス状の1次微分データを生成する1次微分データ生成手段と、

各測定点について、前記1次微分データに基づいて、前記傾斜方向における凹凸形状のR度合いを表す2次微分を計算して、マトリックス状の2次微分データを生成する2次微分データ生成手段と、

前記高さデータ、前記1次微分データ、前記2次微分データをそれぞれ処理して、表面凹凸の3次元形状を定量化

化する統計データを生成する統計データ生成手段と、前記統計データを表示出力する手段とを備えることを特徴とする表面凹凸形状の定量化装置。

【請求項7】前記統計データは、平均値、最大値、最小値、中央値、標準偏差、歪み度、尖り度のうちの1種以上であることを特徴とする請求項6記載の表面凹凸形状の定量化装置。

【請求項8】前記1次微分および2次微分の計算は、2つの測定点の値の差を、2つの測定点の距離で除算することにより行うことを特徴とする請求項6記載の表面凹凸形状の定量化装置。

【請求項9】前記1次微分および2次微分の計算にあたり、重み付けフィルタ処理により、1次微分の値および2次微分の値を求めることが特徴とする請求項6記載の表面凹凸形状の定量化装置。

【請求項10】前記重み付けフィルタ処理における重み係数は、8方向における重心点間距離がほぼ等しくなるように選定されていることを特徴とする請求項9記載の表面凹凸形状の定量化装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、評価対象物の表面上の非常に微細な凹凸形状を評価する技術に関し、より具体的には表面凹凸の3次元形状を定量化する方法および装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、表面形状に凹凸のある状態を測定する手段として、その表面上に触針、レーザー、電子線等を走査させ、その状態をJIS規格（表面あらさ規格）に基づいた最大高さ（R_{max}）、十点平均あらさ（R_z）、中心線平均あらさ（R_a）等の数値を利用して評価している。

【0003】また、透明材料例えばガラス、金属薄膜の表面凹凸に関しては、材料を光が通過した時の全透過光（散乱透過光+直進透過光）に対する散乱透過光の割合、いわゆるヘイズ率を表面状態の評価手段として使用してきた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の手段はともに、表面の3次元形状を定量的に表現する手段ではない。例えばR_a、R_{max}等が同じ値であっても、走査型電子顕微鏡（SEM）で観察すれば、3次元的表面凹凸状態が異なることがある。また、ヘイズ率が同じ値でも3次元表面状態が異なることがある。その理由は、3次元の表面形状とR_a、R_{max}等およびヘイズ率とは独立したパラメータであるためである。

【0005】具体的には、本出願の発明者等は、アモルファスSi太陽電池の透明電極の表面凹凸の評価に際し、R_a、R_{max}等およびヘイズ率では、ピラミッド型、ドーム型等のグレーン形状の区別が充分つかないと

いう問題点を認識していた。したがって、ピラミッド型、ドーム型など3次元的表面凹凸の形状を区別できる、表面凹凸形状の定量化方法および装置を開発する必要があった。

【0006】本発明の目的は、上述のような要望に答えることのできる、表面凹凸形状の定量化方法および装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の表面凹凸形状の定量化方法は、評価対象物の表面の凹凸形状の高さをマトリックス状に配列された測定点について測定して、マトリックス状の高さデータを生成し、各測定点について、前記高さデータに基づいて、各測定点から8つの方向における凹凸形状の傾きを表す1次微分を計算し、前記8方向における1次微分の値の中で最大の値を有する方向を傾斜方向と定め、前記最大値によるマトリックス状の1次微分データを生成し、各測定点について、前記1次微分データに基づいて、前記傾斜方向における凹凸形状のR度合いを示す2次微分を計算して、マトリックス状の2次微分データを生成し、前記高さデータ、前記1次微分データ、前記2次微分データをそれぞれ処理して、表面凹凸の3次元形状を定量化する統計データを生成することを特徴とする。

【0008】本発明の表面凹凸形状の定量化装置は、評価対象物の表面の凹凸形状の高さをマトリックス状に配列された測定点について測定して、マトリックス状の高さデータを生成する高さデータ生成手段と、各測定点について、前記高さデータに基づいて、各測定点から8つの方向における凹凸形状の傾きを表す1次微分を計算し、前記8方向における1次微分の値の中で、最大の値を有する方向を傾斜方向と定め、前記最大値によるマトリックス状の1次微分データを生成する1次微分データ生成手段と、各測定点について、前記1次微分データに基づいて、前記傾斜方向における凹凸形状のR度合いを表す2次微分を計算して、マトリックス状の2次微分データを生成する2次微分データ生成手段と、前記高さデータ、前記1次微分データ、前記2次微分データをそれぞれ処理して、表面凹凸の3次元形状を定量化する統計データを生成する統計データ生成手段と、前記統計データを表示出力する手段とを備えることを特徴とする。

【0009】

【作用】本発明によれば、評価対象物の表面の凹凸の形状を各ポイントにおける傾き、R度合いを数値的に表現し、その平均値、最大値、最小値、標準偏差等を用い定量化を図る。

【0010】このためには、まず、表面の高さ情報を数値化し任意のポイントでの傾斜方向を読み取る。次に、任意のポイントで1次微分しそのポイントでの傾きを算出する。続いて、1次微分結果をさらに2次微分しそのポイントでのR度合いを定量化する。この結果、表面凹凸

の形状を定量化できる。即ち、3次元的に形状を定量化し得る。

【0011】表面の高さ情報を数値化するには、2次元の表面の高さ情報をデジタルに数値化できる手段、例えば走査型トンネル顕微鏡（STM）、原子間力顕微鏡（AFM）、触針式表面粗さ計算により、マトリックス状に配列された各ポイントでの高さを測定する。これにより高さ情報が面の情報として得られる。

【0012】各ポイントにおける傾斜方向は、次のように定める。すなわち、各ポイントにおいて周囲8方向の他のポイントとの高さデータを比較し、すなわち差をとり、その差が最大値である方向を、そのポイントの傾斜方向とする。その際、隣接するポイントとの比較では誤った傾斜数値を得る可能性があるため、場合に応じ、さらに先のポイントと比較し傾斜方向を定める。

【0013】各ポイントにおいて、傾斜方向に微分（1次微分）をとり、傾きを算出する。さらに傾きを微分（2次微分）し、各ポイントでのR度合いを求める。表面が直線的な形状を示していれば、2次微分結果は“0”となる。2次微分結果の+値、-値の違いで、そのポイントが上または下に凸であることがわかる。2次微分結果の絶対値の大きさで、そのR度合いの大きさの認識が可能となる。

【0014】ピラミッド型形状とドーム型形状について、1次微分および2次微分の結果について考察してみる。ピラミッド型は直線斜面が多く、ドーム型は凸斜面が多いという仮定のもとに次式がなりたつ。

ピラミッド型：

$$Z = aS + b \quad \dots \quad (1)$$

ドーム型：

$$Z = -aS^2 + b \quad \dots \quad (2)$$

これら式を図1(a)、(b)に示す。式(1)、

(2)を微分すると、

$$Z' = a \quad \text{または} \quad Z' = -a \quad \dots \quad (3)$$

$$Z' = -2aS \quad \dots \quad (4)$$

となる。これは傾きを表しており、式(3)はピラミッド型がa、-aという高いピークを示し、式(4)はドーム型が高いピークを発生しないことを示している。式(3)、(4)を微分すると、

$$Z'' = 0 \quad \dots \quad (5)$$

$$Z'' = -2a \quad \dots \quad (6)$$

となる。これはR度合いを表しており、式(5)はピラミッド型ではR度合いが0であることを示し、式(6)はドーム型では上に凸であることを示している。ドーム型では、R度合いがきつくなるに従って、2次微分結果の絶対値は大きくなる。

【0015】以上の結果を、次表にまとめる。

【表1】

	ピラミッド型	ドーム型
1次微分	ばらつき少ない	ばらつきあり
2次微分	0	一定

ピラミッド型とドーム型形状について、1次微分結果、2次微分結果について上記のような性質を有するので、表面の高さ情報、1次微分結果、2次微分結果の平均値、最大値、最小値、標準偏差等の算出により、その形状を数値化（定量化）した場合に、表面微細凹凸形状の評価が可能となる。

【0016】

【実施例】図2は、本発明の表面凹凸形状の定量化方法を説明するための基本的なフローチャートである。また*

$$f'(S) = (f(S + \Delta S) - f(S)) / \Delta S \quad \dots \quad (7)$$

ここに、 ΔS は隣接ポイント間の距離である。X軸またはY軸方向に対して45°の角度をなす方向（以下、斜め方向という）の隣接ポイント間の ΔS は、X軸またはY軸方向の隣接ポイント間の $\sqrt{2}$ 倍になる。

【0021】1次微分データ生成部22で、各ポイントでの8方向における1次微分の最大値を求め、 256×256 マトリックスの1次微分データを生成する。なお、各ポイントにおいて、1次微分の最大値が得られた方向を傾斜方向とする。

【0022】このようにして求められた 256×256 マトリックスの1次微分データから、2次微分計算部23で、1次微分を求めたのと同様に8方向における2次微分 $f''(S)$ を計算する（ステップS4）。

【0023】次に、2次微分データ生成部で、8方向における2次微分のうち、1次微分の最大値が得られた傾斜方向の2次微分を選択し、 256×256 マトリックスの2次微分データを生成する（ステップS5）。

【0024】作用の項の説明では、2次微分データの生成に際し、1次微分の計算により定められた傾斜方向にのみ微分するとして説明したが、実際にはプログラムの作成上、ステップS4およびS5におけるように2次微分においても8方向それについて微分し、傾斜方向の微分値を選択するという処理を行っている。

【0025】STMから取り込んだSTMデータ、計算により求めた1次微分データ、計算により求めた2次微分データを、統計処理部25でそれぞれ統計処理して（ステップS6、S7、S8）、高さデータ（STMデータ）、1次微分データ、2次微分データの平均値、最大値、最小値、中央値、標準偏差、歪み度、尖り度を求

10 5 * 図3は、この方法を実施する定量化装置の基本的な機能ブロック図である。

【0017】本発明の基本的な例を、アモルファスSi太陽電池の透明電極（ SnO_2 ）の表面凹凸を定量化する場合について説明する。

【0018】まず、太陽電池の透明電極表面をSTM10により測定して、数値化された表面の高さ情報（以下、STMデータという）を中央処理装置20に取り込む（ステップS1）。STMデータは、例えば、 10μ $\times 10 \mu$ の領域内に 256×256 マトリックスのポイント（測定点）の高さデータを含んでいる。図4（a）は、 256×256 マトリックスの各ポイントに対応する高さデータを記入して表示したSTMデータの一部を示している。説明の便宜上、X方向、Y方向を図示のように定めるものとする。

【0019】次に図4（b）に示すように、8方向1次微分計算部21で、各ポイントについて、8方向の隣接ポイントとの間で、下式により1次微分を計算する（ステップS2）。

【0020】

$$(S) / \Delta S \quad \dots \quad (7)$$

める。また2次微分データについては、さらに、+部平均値、-部平均値を計算する。

【0026】計算されたこれら統計データは、プリンタまたはディスプレイ30に出力され表示される（ステップS9）。

【0027】このように定量化された数値により、太陽電池の透明電極表面の微細凹凸形状の評価が可能となる。

30 【0028】以上は本発明の基本的な例を説明したが、STMデータの微小変化またはノイズなどのため、 ΔS を微小にすると、ミクロ的な変化点のみを測定する可能性があり、このような測定では適正な評価のための統計データが得られないおそれがある。そこで、本発明では、以下のような処理方法を用いている。

【0029】STMデータのノイズを除去するために、コンピュータ画像処理技術における空間フィルタを用いて、STMデータを平滑化する。図5により、空間フィルタ処理について説明する。図5（a）は、高さデータを表示した 256×256 マトリックスのSTMデータを示す。図5（b）は、一例として 3×3 空間フィルタを示す。空間フィルタの係数は、すべて“1”である。

【0030】図5（a）の 3×3 の測定点領域40に対し、空間フィルタ処理して、 $(3 \times 1 + 5 \times 1 + 6 \times 1 + 1 \times 1 + 9 \times 1 + 1 \times 1 + 2 \times 1 + 2 \times 1 + 1 \times 1) / 9$ により高さデータの平均値3.3を計算し、この平均値を図5（c）に示すように領域40の中心の測定点の高さデータと置き換える。このようにして全測定点のデータを空間フィルタ処理して、平滑化することによ

り、ノイズを除去することができる。この例では、空間フィルタ係数をすべて“1”としたが、係数に重みを付けることも可能である。以上では、 3×3 の空間フィルタについて説明したが、 5×5 、 7×7 の空間フィルタを用いることもできる。

【0031】以上の空間フィルタ処理は、画像処理においては周知の技術であるので、これ以上の説明は行わない。

【0032】さて、前述の本発明の基本的説明では、1次微分、2次微分とともに隣接ポイント間のデータに基づいて計算しているが、前述したように ΔS が微小であれば、ミクロ的な変化点のみを測定する可能性がある。したがって ΔS を大きくすれば良いわけであるが、 ΔS を大きくすると、ノイズが入るおそれがある。そこで、ノイズの影響を軽減するために空間フィルタにおける平均、重み付けの考えを取り入れることにより、 ΔS を大きくしたことによる欠点を排除することとした。

【0033】図6(a)は、X方向の重み付け微分のための 3×3 微分フィルタを、図6(b)は、斜め方向の重み付け微分のための 3×3 微分フィルタを示している。例えば、図5(a)の領域40に対して図6(a)の微分フィルタをかける場合には、次のような計算が行われる。

【0034】

$$(6 \times (+1) + 1 \times (+1) + 1 \times (+1) + 3 \times (-1) + 1 \times (-1) + 2 \times (-1)) / 3 \times \Delta S_1$$

また、図5(a)の領域40に対して図6(b)の微分フィルタをかける場合には、次のような計算が行われる。

【0035】

$$(1 \times (+1) + 1 \times (+1) + 2 \times (+1) + 1 \times (-1) + 3 \times (-1) + 5 \times (-1)) / 3 \times \Delta S_2$$

ΔS_1 、 ΔS_2 は、重心間距離であり、隣接ポイント間距離を“1”とすると、 $\Delta S_1 = 2$ 、 $\Delta S_2 = 1.88$ である。

【0036】図6(a)、(b)に示したような微分フィルタでは、 ΔS_1 と ΔS_2 とが異なるために、X、Y方向の微分値と、斜め方向の微分値との間に誤差が生じていた。

【0037】そこで、 $\Delta S_1 = \Delta S_2$ となるように 3×3 の重み付け微分フィルタの重み係数を、図7に示すように選ぶ。図7(a)は、X方向の重み付け微分のための 3×3 微分フィルタを、図7(b)は、斜め方向の重み付け微分のための 3×3 微分フィルタを示している。*

統計データ

	STMデータ
平均値	80.7589 (nm)
最大値	174.532 (nm)
最小値	0
中央値	78.6428 (nm)

*【0038】図7(a)の場合の重心間距離 ΔS_1 は、次のように計算される。

【0039】

$$\Delta S_1 = \{ (-2+2)^2 + (-2-3-2)^2 \}^{1/2} \times 2 / (2+3+2) = 2$$

また、図7(b)の場合の重心間距離 ΔS_2 は、次のように計算される。

【0040】

$$\Delta S_2 = \{ (2+3)^2 + (3+2)^2 \}^{1/2} \times 2 / (2+3+2) = 2.02$$

どのように図7(a)、(b)の重み付け微分フィルタを用いて微分を計算すれば、X方向、Y方向と斜め方向との間で誤差の小さい微分値を求めることができる。

【0041】なお、図7(a)、(b)は、点線矢印で示す方向の微分を計算する場合の微分フィルタを示しているが、各々90度回転させることによって残りの6方向のための微分フィルタが得られることは、容易に理解できるであろう。

【0042】また、このような重み付け微分フィルタは、1次微分および2次微分の両方について使用するものとする。

【0043】以下に、アモルファスSi太陽電池の透明電極(SnO₂)の高さ情報であるSTMデータから図7に示した微分フィルタを用いて1次微分データおよび2次微分データを求め、STMデータ、1次微分データ、2次微分データを統計処理して得られた統計データの具体例を示す。

【0044】このような太陽電池に用いられる透明電極(SnO₂)をSTMにより測定して高さデータを得る場合、1個のグレーン(サイズ0.1~1ミクロン)あたり、25~10個程度の測定点をとった。

【0045】なお、理解を助けるために図8に、アモルファスSi太陽電池の断面図を示す。光は、ガラス板の方から入射し、透明電極の表示微細凹凸(テクスチャ構造)で散乱し、アモルファスSi内に入る。光が散乱してアモルファスSi内に入ることにより、変換効率が向上する。

【0046】例 1

透明電極(SnO₂膜)

膜厚 : 6150 オングストローム

グレーン形状 : ピラミッド型

ヘイズ率 : 5.0%

SEM写真 : 図9

1次微分データ	2次微分データ
26.6484	0.001576
72.9035	0.932572
0	-0.92528
25.2556	-0.00728

9	標準偏差	29.0841 (nm)	13.923	0.215649
	歪み度	-0.30279	-0.55730	-0.27607
	尖り度	2.83009	2.98879	7.83088
	+部平均値			0.174389
	-部平均値			-0.12828

例 2

透明電極 (SnO_2 膜)膜厚 : 6150 オングストローム
統計データ

	STMデータ	1次微分データ	2次微分データ
平均値	85.8242 (nm)	28.2704	0.001880
最大値	187.792 (nm)	74.527	1.03619
最小値	0	0	-1.0281
中央値	84.3149 (nm)	27.6621	-0.00809
標準偏差	30.2138 (nm)	13.8612	0.220702
歪み度	-0.25499	-0.38947	-0.14049
尖り度	2.71711	2.86697	9.0705
+部平均値			0.177596
-部平均値			-0.12855

例 3

透明電極 (SnO_2 膜)膜厚 : 5700 オングストローム
統計データ

	STMデータ	1次微分データ	2次微分データ
平均値	105.247 (nm)	26.8368	-0.00085
最大値	203.621 (nm)	75.2309	1.088
最小値	0	0	-1.0795
中央値	104.627 (nm)	25.4545	-0.017
標準偏差	33.0929 (nm)	13.978	0.210183
歪み度	-0.19893	-0.44292	-0.09932
尖り度	2.98318	2.84706	10.3231
+部平均値			0.166137
-部平均値			-0.12122

例 4

透明電極 (SnO_2 膜)膜厚 : 5450 オングストローム
統計データ

	STMデータ	1次微分データ	2次微分データ
平均値	100.709 (nm)	26.4187	-0.00053
最大値	207.415 (nm)	75.8747	1.13981
最小値	0	0	-1.13091
中央値	99.4916 (nm)	24.619	-0.00890
標準偏差	31.1651 (nm)	14.3043	0.225364
歪み度	-0.14591	-0.54721	0.25075
尖り度	2.64208	2.94404	9.90896
+部平均値			0.167901
-部平均値			-0.13692

以上の統計データから透明電極表面の凹凸形状の評価が可能となる。

〔0047〕ピラミッド型またはドーム型の表面微細凹

凸形状を有する透明電極を用いたアモルファスSi太陽電池について、透明電極のヘイズ率に対する太陽電池の短絡電流の変化をプロットしたグラフを図13に示す。

11

ただし、短絡電流は、表面凹凸が小さく（平坦により近い）、ヘイズ率が2～3%の標準的な透明電極に対する比で表すものとする。図13によれば、ピラミッド型とドーム型とで、短絡電流に差があり、ピラミッド型の方がより大きい短絡電流が得られる。このように、短絡電流はヘイズ率に依存するだけでなく、透明電極の表面の凹凸形状にも依存することがわかる。

【0048】以上の実施例では、特に太陽電池の透明電極の表面凹凸形状を定量化することについて説明したが、本発明は広く表面凹凸形状の定量化に適用できることは明らかである。

【0049】

【発明の効果】本発明によれば、表面凹凸形状（高さ、傾き、R度合い）の定量化が可能となる。したがって、従来では、表面粗さ、ヘイズ率では3次元的表面凹凸状態を評価できなかったが、本発明により可能になった。

【0050】本発明の表面凹凸形状の定量化方法および装置は、種々の分野に利用することができ、極めて有用である。

【図面の簡単な説明】

【図1】ピラミッド型およびドーム型形状を表す式を示す図である。

【図2】本発明の表面凹凸形状の定量化方法を説明するための基本的なフローチャートである。

【図3】本発明の方法を実施する定量化装置の基本的な機能ブロック図である。

12

* 【図4】STMデータの一部および1次微分に際しての8方向を示す図である。

【図5】空間フィルタ処理を説明するための図である。

【図6】微分フィルタ処理を説明するための図である。

【図7】重み付き微分フィルタ処理を説明するための図である。

【図8】アモルファスSi太陽電池の断面図である。

【図9】透明電極(SnO₂)表面のSEM写真である。

10 【図10】透明電極(SnO₂)表面のSEM写真である。

【図11】透明電極(SnO₂)表面のSEM写真である。

【図12】透明電極(SnO₂)表面のSEM写真である。

【図13】ヘイズ率に対する短絡電流の変化をプロットしたグラフである。

【符号の説明】

10 STM

20 中央処理装置

21 8方向1次微分計算部

22 1次微分データ生成部

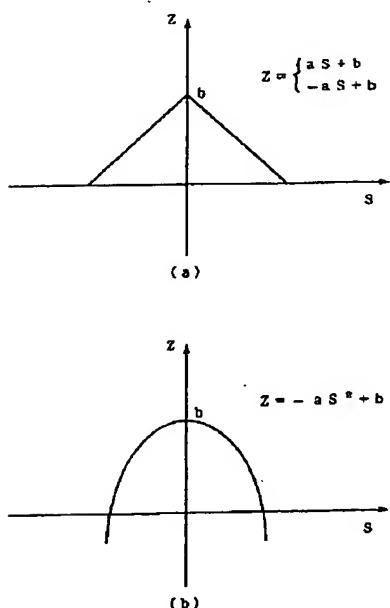
23 8方向2次微分計算部

24 2次微分データ生成部

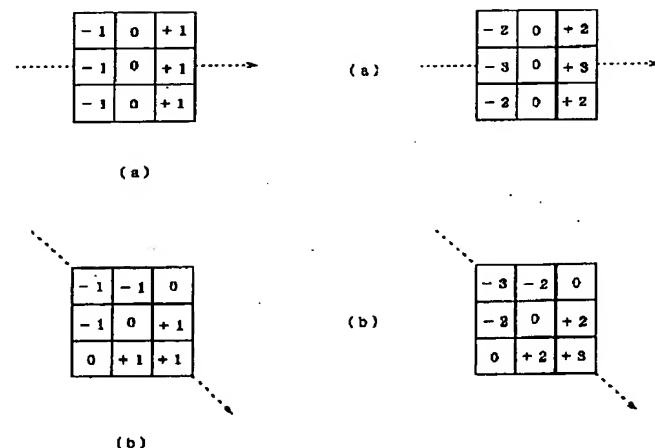
25 統計処理部

* 30 プリンタまたはディスプレイ

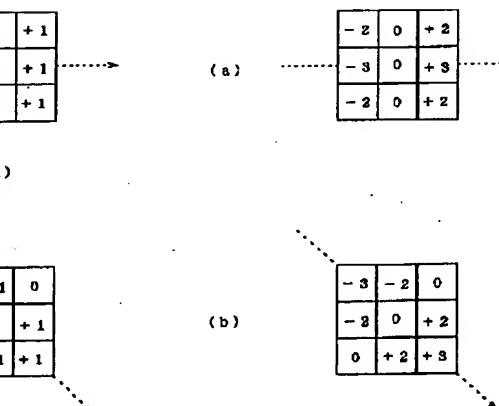
【図1】



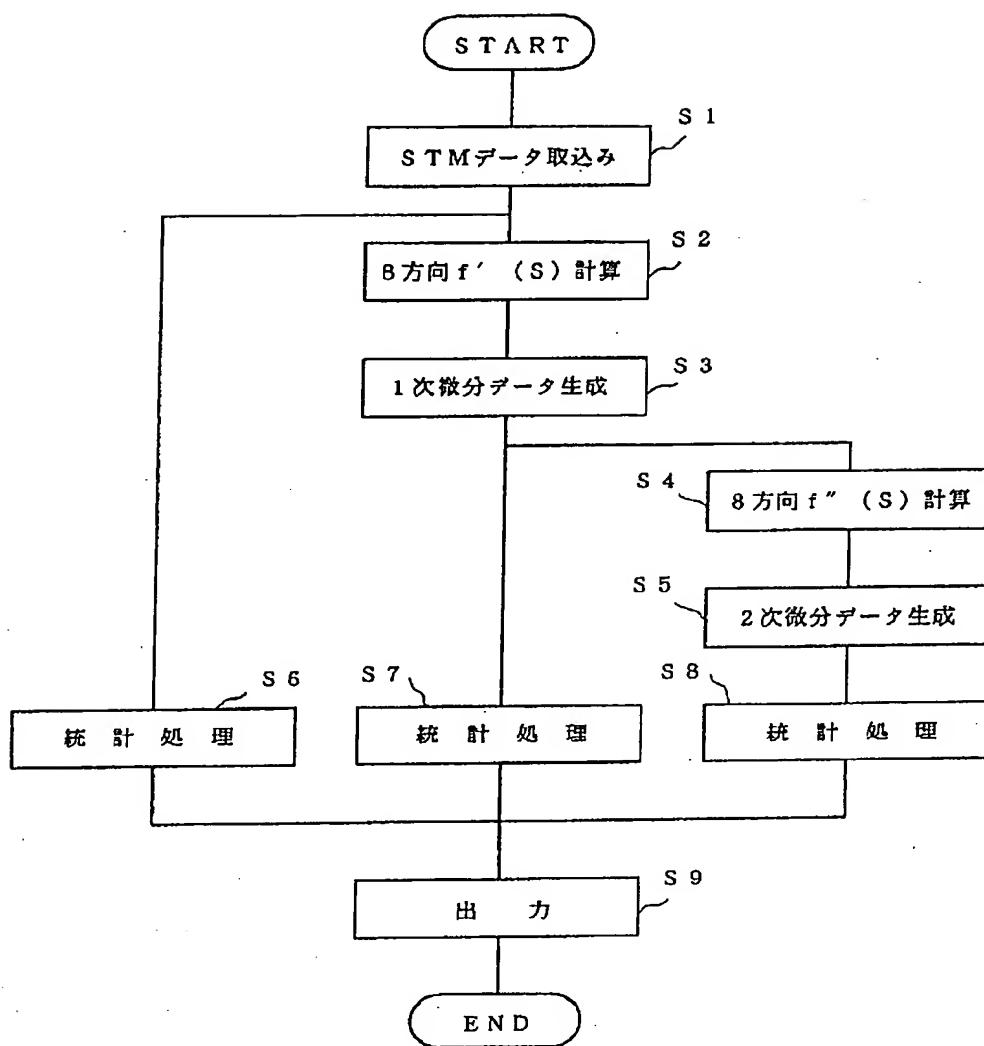
【図6】



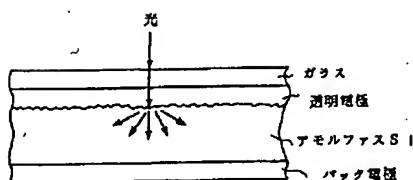
【図7】



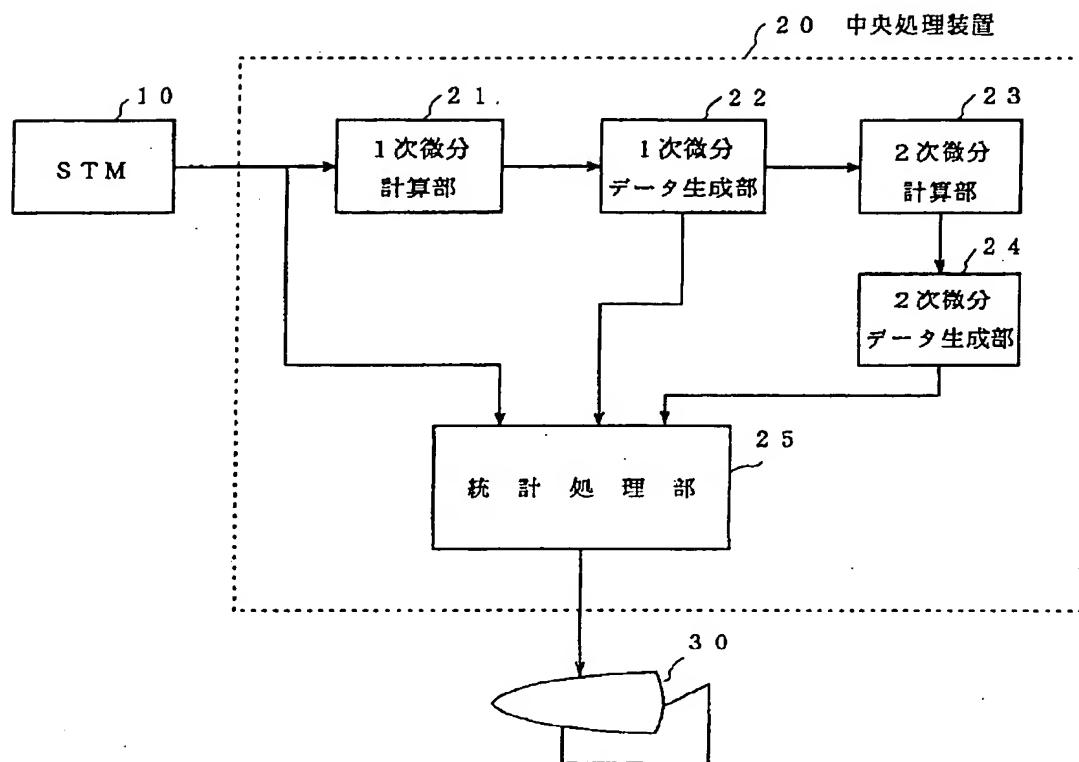
【図2】



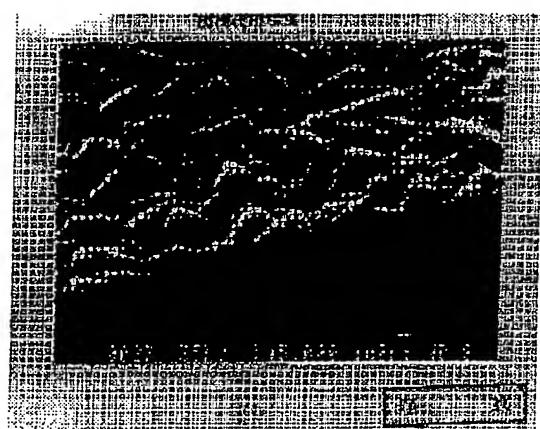
【図8】



【図3】



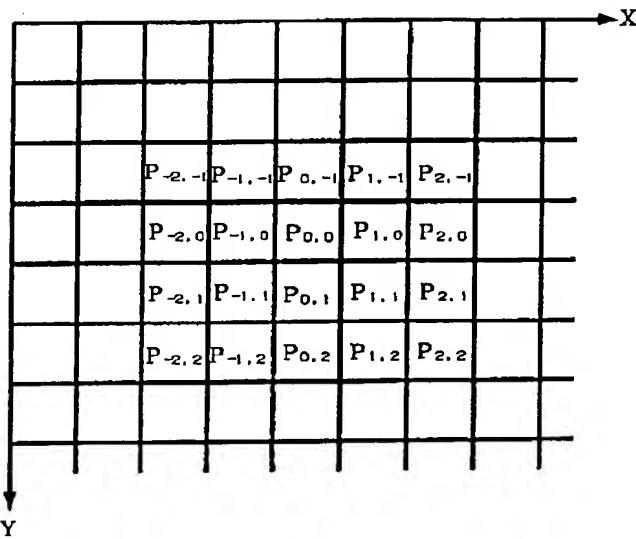
【図9】



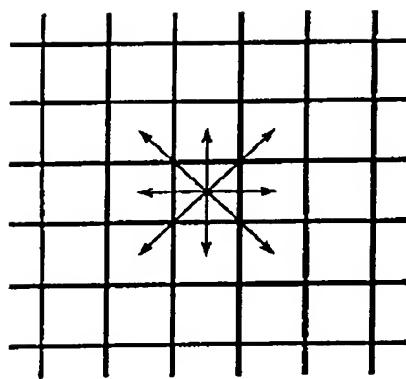
【図10】



【図4】

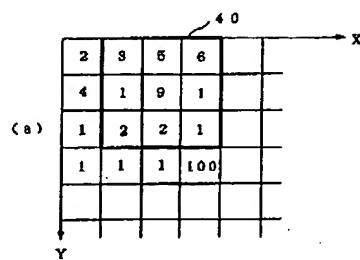


(a)

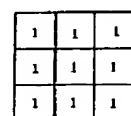


(b)

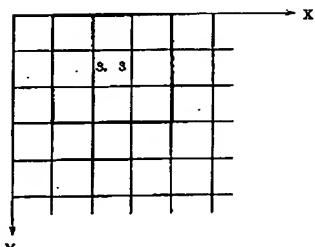
【図5】



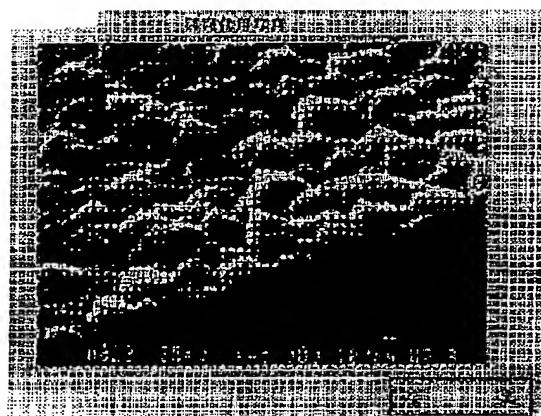
(b)



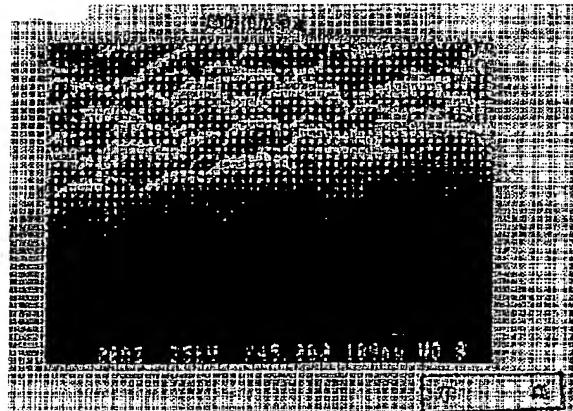
(c)



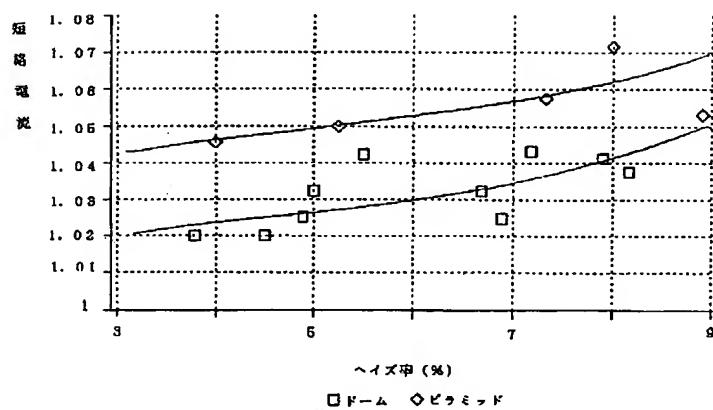
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 石原 剛一
 東京都千代田区神田錦町3-11 ボンドビル4F 株式会社ネクサス内